



Lund 1982

INSTITUTIONEN FÖR VÄRME- OCH KRAFTTEKNIK
ENERGIHUSHÅLLNING
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

ELEFFEKT I SMÅHUS –

Belastningsanalyser och
simuleringsstudier för
lokala elnät

Lennart Larsson

1982

ELEFFEKT I SMÅHUS -
Belastningsanalyser och simulerings-
studier för lokala elnät

av

Lennart Larsson

Civ Ing

Akademisk avhandling som för avläggande av teknisk
doktorsexamen vid tekniska fakulteten vid universi-
tetet i Lund kommer att offentligen försvaras i sal
M:A (Maskinteknikhuset, Ole Römers Väg 1) Tekniska
Högskolan, Lund, torsdagen den 2 juni 1982 kl 10.00.



Printed in Sweden
Studentlitteratur
Lund 1983

FÖRORD

Föreliggande avhandling behandlar de elektriska effekt-behoven i elvärmda småhus och sammanfattar resultaten från ett forskningsprojekt som påbörjades 1978. Detta var innan man på officiellt svenskt håll påbörjade diskussionen om det nu så aktuella "elöverskottet", vilket i ett slag gjorde ämnesområdet för avhandlingen hög-aktuellt.

Forskningsarbetet har bedrivits vid Institutionen för Värme- och Kraftteknik inom huvudinriktningen Energi-hushållning. Projektet har delvis finansierats av Statens Råd för Byggnadsforskning genom forskningsanslagen 790270-7 och 820072-7.

Jag vill här passa på att tacka min handledare professor Lennart Thörnqvist, som hela tiden envist stöttat mig. Utan hans insatser hade denna avhandling förmodligen inte blivit till.

De belastningsmätningar som ligger till grund för projektet har genomförts av Energiverken i Göteborg. Ett speciellt tack riktas här till Kjell Jonasson och Peter Weiss, som välvilligt ställt mätresultaten till mitt förfogande och som dessutom lagt ned ett stort arbete vid överföringen av data från Göteborg till Lund.

Ett tack riktas också till alla medarbetare vid institutionen som lagt grunden för en forskningsvänlig miljö. Här bör teknologie doktorerna Svend Frederiksen och Sven-Erik Ransmark, som hjälpt till med slutspurtens manus-granskning, nämnas liksom Mona Dyberg och Carin Hedlund, som renskrivit mina arbeten.

Lund 1983-04-14

Lennart Larsson

SUMMARY

This thesis deals with the study of electric loads in single family houses, presented as a composite dissertation with four major reports and a summary. The purpose of the study is to:

- analyse measured data representing the electric load in about 40 single family houses heated by direct resistive electric heating systems.
- develop a model suitable for computer simulation of the electric load in single family houses heated by direct resistive electric heating systems.
- simulate the electric load from groups of single family houses heated by direct resistive electric heating systems or respectively electrical central heating systems, and make a comparison between the two at the level of the mains supply to the house.

The study is based upon data from a measurement project carried out during a two month period in 1977 by the Energy Supply Board in Gothenburg. For each of the 40 single family houses which were included in the measurement program the following three load components were measured as average values for each quarter of an hour:

- electric load for water heating
- electric space heating load
- load of household appliances, lighting, etc.

Data measured during the first month were utilised to develop the simulation model, whereas data from the second month were used mainly for model verification purposes.

The analysis of data concerned the characteristic features of the long term average load, the average daily load, the maximum daily load, and the daily load curve. The following observations were made from the analysis:

- the maximum aggregate load from a group of single family houses occurred during the weekend period.
- considerable variations in the maximum load were observed between houses of the same type.
- considerable variations in the average load were observed between different days for the same house.

Though deliberately simple in structure and designed for easy application, the computer simulation model developed in this project proved to be well suited for simulations of the aggregate load from a group of single family houses with direct resistive electric heating, provided that the outdoor temperature is fairly constant. Data were not available for model tests including houses with technical and ambient conditions differing from those of the houses in the measurement project.

The expected maximum aggregate load from a group of single family houses, of the above mentioned type, may be given as follows for different types of heating systems:

- direct resistive electric heating $P = 8.7 + 5.7/\sqrt{n}$ kW/house
- central electric heating $P = 8.6 + 9.9/\sqrt{n}$ kW/house
- without electric heating $P = 1.0 + 2.7/\sqrt{n}$ kW/house
(excluding power for circulation pump, oil burner, etc.)

The results from the study of the expected maximum load may also be interpreted in the context of the contemporary Swedish energy policy. Many houses which formerly had oil-fired heating are at present being converted to central electric heating which increases the load on the local mains. This study shows that local mains designed according to conventional Swedish load dimensioning recommendations allow conversion of about 10 percent of the households without adding to the mains capacity.

The specific problem area dealt with in this study has not often been the subject of research - even in an international context. A few works from the international literature are referred in detail in this study. Interesting differences in methodology are pointed out.

1	PROBLEMINTRODUKTION	1
2	SYFTE, BEGRÄNSNINGAR OCH ARBETSGÅNG	2
21	SYFTE	2
22	BEGRÄNSNINGAR	2
23	ARBETSGÅNG	2
3	ANALYSER AV UPPMÄTTA EFFEKTER	3
31	ANVÄNDA MÄTVÄRDEN	3
32	TYPBELASTNINGAR BASERADE PÅ UPPMÄTTA EFFEKTER	4
33	ÖVRIGA ANALYSER AV EFFEKTMÄTNINGARNA I BUA-VÄSTERGÅRD	6
331	Genomsnittseffekter	6
332	Maxeffekter	7
4	SIMULERINGSMODELL	8
41	SIMULERINGSMODELLENS UPPBYGGNAD OCH ARBETSSÄTT	8
411	Övergripande principer	8
412	Simulering av långtidsgenomsnitt	8
413	Simulering av dygns-genomsnitt	8
414	Simulering av dygnseffektkurvor	9
42	VERIFIERING AV SIMULERINGSMODELLEN	9
43	DIREKTVERKANDE ELLER VATTENBUREN ELVÄRME - EFFEKTBEHOV	10
431	Simulerade effektbehov för vardagsdygn	10
432	Dimensionerande effekter	11
5	ANDRA STUDIER INOM AVHANDLINGENS OMRÅDE	14
6	RESULTAT	17
61	SLUTSATSER AV GJORDA STUDIER	17
62	FÖRSLAG TILL VIDARE STUDIER	17
	LITTERATURFÖRTECKNING	19

I alla centraliserade försörjningssystem är det viktigt att känna konsumenternas karakteristiska förbrukningsmönster. Känner man inte detta kan det hända att försörjningssystemet under vissa tidsperioder ej kan fylla sin uppgift, med risk för allmänt missnöje och uteblivna intäkter som följd. Bristande kunskap kan också leda till att försörjningssystemet överdimensioneras, vilket kan ge besvärande driftsekonomiska konsekvenser. Omvänt kan en god kunskap om förbrukningens tidsmässiga variation vara en strategisk resurs med ekonomiskt värde, t ex då det gäller att bedöma möjligheterna att ansluta nya abonnenter eller att acceptera nya förbrukningsmönster inom befintliga försörjningssystem.

I ett elförsörjningssystem där produktionen hela tiden måste vara lika med konsumtionen är det särskilt viktigt att känna förbrukningens nivå vid olika tidpunkter. Elproducenterna har därför sedan länge intresserat sig för studier av efterfrågans tidsdimension - det vi benämner effekt. Försök har gjorts att uppskatta olika användarkategoriernas andelar av den totala ianspråkta effekten. För elproducenterna är det särskilt viktigt att studera sådana elkonsumenter som till följd av olika omständigheter tidsmässigt samordnar sina elenergiuttag. Därför bör en elproducent vara mer observant på 600 000 elvärmda småhus å 10 kW än på 1 500 000 elektriska bakugnar å 4 kW trots att det potentiella effektuttaget är detsamma.

Att känna elanvändarnas förbrukningsmönster i detalj är tekniskt möjligt men knappast ekonomiskt försvarbart. Ökande krav på hushållning med det kapital som binds i elförsörjningssystemet ökar emellertid motiven för förbättrad kunskap om konsumenternas effektmässiga beteende. Denna kunskap står i direkt relation till möjligheterna att minska kostsam överkapacitet eller att utnyttja identifierad överkapacitet bättre. Härvid bör man notera att ett "elöverskott" på produktions- sidan inte behöver ha någon motsvarighet i ett "överskott" på distributionssidan.

Förhållandet med ett förväntat "överskott" på elproduktions- sidan är aktuellt i Sverige. En stor del av detta "överskott" kommer, om förväntningarna infrias, att användas för uppvärmning av tidigare oljevärmda småhus. Detta innebär, att lokala elnät dimensionerade för småhus utan elvärme kommer att utnyttjas för elleveranser till småhus med huvudsakligen vattenburen elvärme. Då "överskottet" antas vara tidsbegränsat, är det av ekonomiska skäl önskvärt att hålla tillbaka behovet av förstärkningsarbeten i de lokala elnäten.

Mot denna bakgrund finns det motiv för att öka kunskaperna om det effektmässiga beteendet hos kategorin småhus både med och utan elvärme. Kunskaperna kan sedan utnyttjas för att identifiera den utnyttjningsbara överkapacitet som, på grund av schablonmässiga dimensioneringsprinciper, kan finnas i de befintliga lokala elnäten. För att öka kunskaperna krävs detaljerade effektmätningar med god tidsupplösning. De effektmätningssprojekt som genomförts i Sverige avser endast i ett fåtal

fall effekterna på det lokala elnätets nivå. Detta kan delvis förklaras med att mätutrustningen är dyr, att det tar lång tid att genomföra ett mätprojekt och att det oftast är elproducenterna som genomfört mätningarna. Dessa är huvudsakligen intresserade av de sammanlagrade effekterna på högre nivå inom eldistributionen. De internationella studier som publicerats berör i likhet med de svenska vanligen de sammanlagrade effekterna på höga nivåer i elnäten. Utländska resultat är dessutom endast i begränsad omfattning direkt jämförbara med svenska förhållanden, då såväl tekniska som ekonomiska och organisatoriska förhållanden skiljer sig åt.

2 SYFTE, BEGRÄNSNINGAR OCH ARBETSGÅNG

21 SYFTE

I denna avhandling summeras tidigare genomförda och redovisade studier. Syftet med dessa studier är att med utgångspunkt från ett omfattande mätprojekt

- analysera de uppmätta elektriska effektbehoven från direktelvärmda småhus.
- utveckla en datormodell som simulerar de elektriska effektbehoven från elvärmda småhus.
- i en simuleringsstudie på det lokala elnätets nivå jämföra effektbehoven för småhus med direktverkande elvärme med effektbehoven för småhus med vattenburen sådan.

I avhandlingen refereras kortfattat de studier som den grundar sig på. De fullständiga rapporterna återfinns som bilagor. Härtill fogas en översiktlig analys av några aktuella internationella studier i ämnet.

22 BEGRÄNSNINGAR

Studierna och de därpå grundade slutsatserna begränsas generellt till att endast omfatta de elektriska effektbehoven i småhus, som med avseende på storlek, typ, omgivning etc liknar de småhus vars uppmätta effekter ligger till grund för denna studie. De utnyttjade mätningarna beskrivs i kapitel 3.

23 ARBETSGÅNG

Föreliggande avhandling summerar tidigare utförda studier. Avhandlingen uppdelas i två huvuddelar:

- Analys av uppmätta effektbehov i direktelvärmda småhus.
- Simulering av effektbehov i direktel- och elpanneuppvärmda småhus.

Detta innebär en samlad strukturering av de studier som i verkligheten bedrivits i följande etapper:

- 1) Analys av uppmätta effektbehov samt härpå grundad utveckling och verifiering av en datormodell som simulerar de elektriska effektbehoven i direktelvärmda småhus (6), (10), (12), (14), (15).
- 2) Komplettering av den ovan nämnda modellen med en modell som simulerar en elpannas effektmässiga beteende (16).
- 3) En simuleringsstudie där effektbehoven i direktelvärmda småhus jämförs med effektbehoven i samma småhus uppvärmda med elpannor istället (16).
- 4) En jämförelse av effektbehoven i direktelvärmda småhus under vardagar (måndag-torsdag) med motsvarande effektbehov under veckosluten (17).

3 ANALYSER AV UPPMÄTTA EFFEKTER

31 ANVÄNDA MÄTVÄRDEN

Av tids- och kostnadsskäl var det önskvärt att kunna utnyttja mätdata från redan genomförda mätprojekt. Sådana mätprojekt har genomförts på ett flertal platser i Sverige, men oftast bara på enstaka eller ett fåtal belastningsobjekt. Det enda större mätprojekt som, vid tidpunkten för denna studies början, kunde uppfylla ställda krav på omfattning och detaljrikedom hade genomförts av Energiverken i Göteborg.

Under tiden januari-mars 1977 mättes effektbehoven i 40 direktelvärmda småhus i småhusområdet Bua-Västergård, beläget i Göteborgs sydvästra stadsdelar. Mätningarna indelades i två mätperioder under vilka man för vart och ett av småhusen mätte och registrerade genomsnittseffekten för varje 15-minutersperiod uppdelad på hushållsel, el för varmvattenberedning och direkt elvärme. Efter korrektion för bortfall, instrumentfelet etc återstod fullständiga mätvärden från 17 radhus och 16 friliggande småhus under den första mätperioden. Motsvarande mätvärden från den andra mätperioden fanns för 15 radhus och 13 friliggande småhus. Utöver de elektriska effekterna har utomhustemperaturen, vindhastigheten och vindriktningen mätts i området. Dessutom har Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, registrerat solinstrålningen vid Göteborgs förra flygplats Torslanda. Samtliga mätvärden har Energiverken i Göteborg välvilligt ställt till förfogande för dessa studier.

Beskrivning av mätningarna och mätutrustningen finns i (1) och (4). Någon diskussion om mätnoggrannheten finns inte. Med hänsyn till ovan nämnda redogörelse för mätningarnas genomförande har dock de erhållna mätvärdena antagits vara till-

räckligt noggranna för de följande studierna. Några begränsningar i det tillgängliga materialet kan dock anges:

- De aktuella husgrupperna är försedda med varmvattenberedare som arbetar i tre effektsteg. Maxeffekten kan manuellt begränsas till något av de lägre effektstegen. I dokumenteringen av mätningarna är det inte registrerat vilka som eventuellt utnyttjat denna möjlighet.
- I radhusgruppen ingår både gavelradhus och mellanliggande hus. Dessa kan inte skiljas från varandra i det använda materialet.
- I direkt samband med effektmätningarna har socio-ekonomiska data (familjestorlek, ålder, aktiviteter, inkomst, apparatinnehav etc) ej registrerats.

I den av Svenska Elverksföreningens, SEF, utgivna publikationen "Sammanlagrings- och belastningsstudier" (2) anges, att 1-timmes genomsnittseffekten är lämplig som dimensionerande effekt för eldistributionssystemet. För att möjliggöra jämförelser med av SEF rekommenderade dimensionerande effekter räknades de erhållna mätvärdena om från 1/4-timmes till 1-timmes genomsnittseffekter innan några analyser gjordes.

32 TYPBELASTNINGAR BASERADE PÅ UPPMÄTTA EFFEKTER

Som tidigare nämnts omfattade Energiverkens i Göteborg effektmätningar i småhusområdet Bua-Västergård två på varandra följande mätperioder. Här analyseras endast mätvärden från den första mätperioden. Resterande mätvärden sparas för kontroll- och verifieringsändamål. Då de tillgängliga mätresultaten är uppdelade på hushållsel, el till varmvattenberedning och elvärme för vart och ett av hushållen, följs denna indelning i fortsättningen. Analysen syftar till att med utgångspunkt från uppmätta effektbehov och enkla modellansatser finna typkurvor för effektuttaget för respektive förbrukningsområde. Modellansatserna utformas med tanke på en lämplig avvägning mellan enkelhet och representativitet. Analyserna och modellansatserna redovisas i rapporterna (6), (10) och (12).

Analysen av hushållseffekten (6) resulterar i en modell med 24 typkurvor. Dessa erhålls genom att det enskilda småhusets dygnseffektkurva för hushållsel normeras med sin dygnsgenomsnittseffekt. De normerade effektkurvorna grupperas sedan efter timmen för dygnsmax och slutligen beräknas genomsnittskurvan för alla effektkurvor med max under samma timme. Samtidigt registreras frekvenserna för när dygnsmaxeffekterna inträffar. En del av de 24 typkurvorna har ingen motsvarighet i verkligheten.

Vid analysen av effektuttaget för varmvattenberedning (12) framkommer ett tidsmässigt samband mellan detta och effektuttaget för hushållsel. Sambandet utnyttjas så att dygnseffektkurvorna för varmvattenberedning grupperas efter timmen

för max hushållseffekt från samma hushåll och dygn. Därefter beräknas typkurvor för effektuttaget för varmvattenberedning på samma sätt som för hushållseffekten. Dessa typkurvor motsvarar inte helt de verkliga förhållandena då varmvattenberedarna arbetar i tre effektsteg. Detta innebär att antingen är varmvattenberedaren tillslagen med en viss stegeffekt, eller så är den frånslagen. Därför grupperas också frekvenserna för när varmvattenberedarna slår till efter timmen för max hushållseffekt. Även frekvenserna för antalet tillslag per dygn och hushåll registreras. Dessa data redovisas i (14).

Det genomsnittliga effektuttaget per timme för elvärme (10) visade sig, för dygn med små variationer i utomhustemperaturen, med kvalitativt godtagbar precision kunna beskrivas med följande enkla modell:

$$P_{\text{tillf}} = P_{\text{behov}} - P_{\text{gratis}}$$

där

$$P_{\text{tillf}} = \text{Husets behov av via värmesystemet tillförd värmeeffekt}$$

$$P_{\text{behov}} = \text{Husets behov av värmeeffekt}$$

$$P_{\text{gratis}} = \text{Värmeeffekt som huset kan tillgodogöra sig från andra källor än värmesystemet.}$$

Husets behov av värmeeffekt är approximativt proportionell mot skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur enligt följande:

$$P_{\text{behov}} = P_{\text{spec}} \cdot (t_{\text{inne}} - t_{\text{ute}})$$

där

$$P_{\text{spec}} = \text{Husets specifika värmeeffektbehov uttryckt i kW/}^{\circ}\text{C.}$$

Av den värmeeffekt som huset kan tillgodogöras från andra källor än värmesystemet tas endast hänsyn till hushållseffekten enligt följande:

$$P_{\text{gratis}} = P_{\text{hushållsel}} \text{ dock högst lika med } P_{\text{gräns}}$$

där

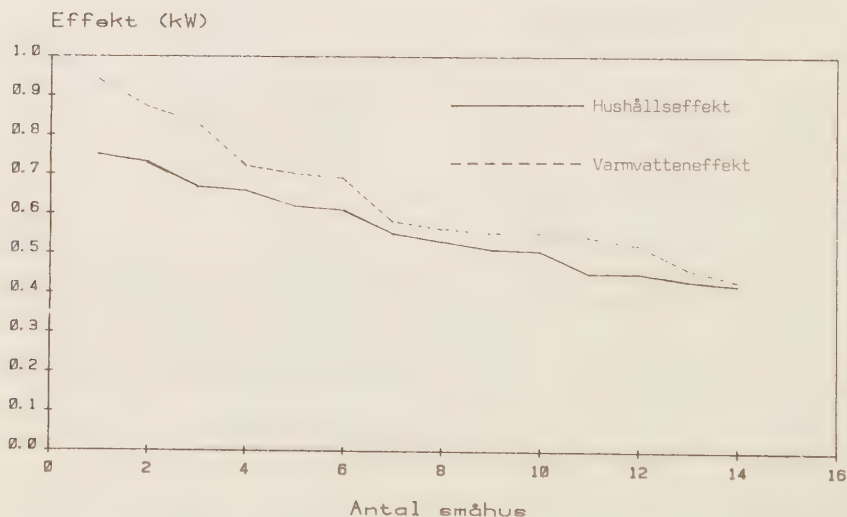
$$P_{\text{gräns}} = \text{Gränsvärdet för hur stor hushållseffekt som kan tillgodogöras i form av värme.}$$

Analyserna av de enskilda förbrukningsområdena visar nivåmässiga samband mellan de enskilda hushållens genomsnittliga effektuttag för hushållsel och för varmvattenberedning. Detta samband skattas i form av en regressionslinje. Något liknande samband kan ej beläggas mellan effektuttaget för elvärme och något av de andra två förbrukningsområdena (14).

331 Genomsnittseffekter

Vid analyserna av effektförhållandena kartlades variationerna i genomsnittseffekter hos hus av samma typ och storlek. Det visade sig att skillnaderna i genomsnittseffekt över hela mätperioden mellan olika hushåll var stora. Samtidigt visade sig variationerna mellan olika dygn hos samma hushåll också vara betydande.

Enskilda hushålls avvikelser i förhållande till gruppgenomsnittet uppgår i vissa fall till mer än $\pm 50\%$ för hushållseffekten, $\pm 40\%$ för varmvatteneffekten och $\pm 20\%$ för elvärmeeffekten. Trots att gavelhus och mellanliggande radhus ej kan särskiljas är variationen i genomsnittlig elvärmeeffekt för enskilda hus mindre i radhusgruppen än i gruppen med friliggande hus. I figur 3.1 nedan visas hur genomsnittseffekterna för hushållsel och varmvatten varierar mellan olika friliggande småhus.



Figur 3.1 Fördelningen för enskilda genomsnittsvärden över hela mätperioden för hushålls- och varmvatteneffekt i gruppen med de friliggande småhusen.

De relativa skillnaderna mellan ett hushålls genomsnittseffekt under en längre period och dygnsgenomsnittet är för vissa hushåll större än skillnaderna mellan olika hushåll när det gäller hushålls- och varmvatteneffekterna. För värmeeffekten är

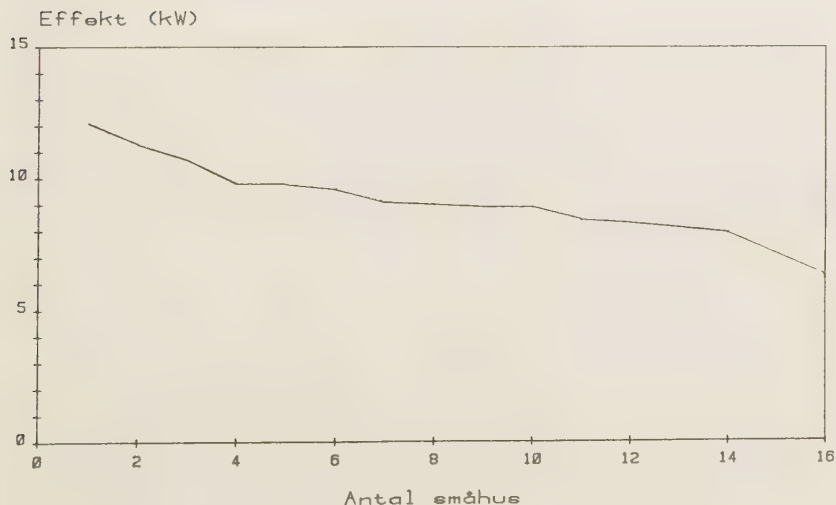
däremot skillnaderna mellan olika hushåll alltid större än skillnaderna mellan olika dygn för samma hushåll.

De observerade variationerna mellan genomsnittseffekterna hos olika tekniskt likvärdiga småhus antyder, att det kan vara olämpligt att behandla effektbehoven från mindre småhusgrupper enbart med hjälp av genomsnittsvärden.

332 Maxeffekter

För att karakterisera variationerna i elektrisk effekt under veckans olika dygnstyper (17), utnyttjades de tidigare omnämnda mätningarna i Bua-Västergård. Dygnet maxeffekt väljs som karakteristisk storhet. Denna storhet studeras för de båda mätperioderna såväl för enskilda småhus som för den sammanlagrade effekten från småhusgrupperna. I studien särskiljes vardags- (måndag-torsdag), fredags-, lördags- och söndagsdygn. De tre sistnämnda sammanfattas också under benämningen veckoslutsdygn.

Det största sammanlagrade maxvärdet för småhusgruppernas totaleffekt infaller under ett veckoslutsdygn och överstiger motsvarande maxeffekt för det högst belastade vardagsdygnet med 10%. Tidpunkten då den sammanlagrade maxeffekten inträffar varierar mer under veckoslutsdygn än under vardagsdygn.



Figur 3.2 Fördelningen för största enskilda maxvärde på totaleffekten i gruppen med de friliggande småhusen.

Den sammanlagrade maxeffektens nivå uppvisar samma mönster. För hushållseffekten överstiger det sammanlagrade maxvärdet under veckoslutsdygn motsvarande värde för vardagsdygn med 5%.

Studien visar, att nästan hälften av de enskilda småhusen uppnår sin maxeffekt under ett vardagsdygn. Skillnaderna i maxeffekt, vad gäller totaleffekt, hushållseffekt och elvärmeeffekt, mellan olika småhus är stora. Totaleffektens maxvärde kan avvika från genomsnittsvärdet för samtliga hushåll med upp till $\pm 30\%$. Variationerna i maxvärde för totaleffekten i friliggande småhus visas i figur 3.2.

4 SIMULERINGSMODELL

41 SIMULERINGSMODELLENS UPPBYGGNAD OCH ARBETSSÄTT

411 Övergripande principer

Med de tidigare beskrivna empiriskt baserade modellansatserna som grund utformades en datorbaserad modell för simulering av de elektriska effektuttagen från elvärmda småhus, uppdelat på hushållseffekt, varmvatteneffekt och elvärmeeffekt. Simuleringsmodellen arbetar i tre steg och beskrivs i sin helhet i (14). Modellens karakteristiska storheter utgörs av effektuttaget för hushållsel och varmvattenberedning samt P_{spec} och $P_{\text{gräns}}$ enligt den tidigare presenterade modellen för elvärme.

412 Simulering av långtidsgenomsnitt

I första steget simuleras de förväntade långtidsgenomsnitten för de karakteristiska storheterna. Dessa används sedan i de följande simuleringsstegen. Grunden för det första steget är variationerna i de karakteristiska storheterna. Dessa har sammanställts i form av genomsnitt och standardavvikelse, varvid effektuttaget för varmvattenberedning representeras av en regressionslinje för sambandet mellan detta och hushållseffekten med tillhörande standardavvikelse (14).

413 Simulering av dygns-genomsnitt

I andra steget simuleras dygns-genomsnitten för de karakteristiska storheterna för varje hushåll. Grunden för detta steg är dels de i steg ett simulerade långtidsgenomsnitten, dels de variationer som finns mellan olika dygn för samma hushåll. Dessa variationer har sammanfattats genom att först normera dygns-genomsnitten med långtidsgenomsnittet och att anta att de normerade dygns-genomsnitten tillhör en normalfördelning. Därefter skattas standardavvikelsen (14). Antagandet, att de enskilda dygns-genomsnitten tillhör en normalfördelning, har inte undersökts. Däremot har Fikri (25) visat, att de för

varje tidsintervall sammanlagrade effekterna kan beskrivas med en normalfördelning.

414 Simulering av dygnseffektkurvor

Det tredje steget i simuleringsmodellen simulerar de timvisa effekterna under ett dygn för vart och ett av hushållen för de tre förbrukningsområdena hushållsel, el till varmvattenberedning och elvärme.

Vid simulering av dygnseffektkurvan för hushållselen väljs typkurva med utgångspunkt från när dygnsmax inträffar. Detta bestäms med hjälp av ett rektangelfördelat slumpstal och frekvenserna för när dygnsmax inträffar. Med hjälp av ett normalfördelningsprogram och en till den aktuella typkurvan hörande standardavvikelsekurva erhålls det aktuella småhusets dygnseffektkurva.

Typkurvan för varmvatteneffekten och frekvenserna för när varmvattenberedarna slår till väljs beroende på tidpunkten för max hushållseffekt. Simuleringen av dygnseffektkurvan börjar med att antalet tillslag för varmvattenberedarens tre steg bestäms med hjälp av ett rektangelfördelat slumpstal och frekvenserna för antalet tillslag. På liknande sätt fastställs när tillslagen ska ske. Tillslag kan endast ske om det aktuella effektsteget är fränslaget och för de båda högsta effektstegen att närmast lägre effektsteg är tillslaget. Den erforderliga inkopplingstiden för den aktuella effektstegskombinationen beräknas ur den energimängd som vattnet ska tillföras innan nästa tillslag äger rum. Denna energimängd erhålles genom summering av typkurvans timvisa effekter under den aktuella tiden.

Dygnseffektkurvan för den direkta elvärmen är resultatet av ett mycket stort antal till- och fränslag för de olika elradiatorerna. Det synes inte möjligt att ta fram någon enkel fysikalisk modell för detta förlopp. Istället utnyttjas den enkla ansatsen att sannolikheten för att en radiator skall vara tillslagen är lika med kvoten mellan det aktuella behovet av via radiatorerna tillförd värmeeffekt och den installerade värmeeffekten. Denna sannolikhet jämförs med ett rektangelfördelat slumpstal mellan 0 och 1, varvid radiatoren anses vara tillslagen om sannolikheten är större än slumptalet. Genom att upprepa denna jämförelse 60 gånger per timme och radiator erhålles en simulerad dygnseffektkurva.

42 VERIFIERING AV SIMULERINGSMODELLEN

Mätvärdena från mätperiod två utnyttjades för att verifiera simuleringsmodellen. Antalet mätvärden i period två ligger i samma storleksordning som de som utnyttjats i samband med framtagande av simuleringsmodellen.

Mätvärdena från den andra mätperioden analyserades med avseende på samma karakteristiska storheter som mätvärdena från

den första mätperioden. Analysresultaten från mätperiod två jämfördes med motsvarande värden från mätperiod ett. Ett antal simuleringar av dygnseffektkurvorna för grupper av direktelvärmda småhus genomfördes. Resultaten från dessa simuleringar jämfördes med de uppmätta värdena från den första mätperioden. Verifieringen beskrivs i sin helhet i (15).

De jämförande analyserna visar, att skillnaderna i sammanlagrade maxeffekter mellan simulerade och uppmätta värden är av samma storleksordning som skillnaderna mellan de uppmätta värdena i de båda mätperioderna. Samma är förhållandet för de sammanlagrade genomsnittseffekterna. De simulerade sammanlagrade dygnseffektkurvorna ligger såväl till form som nivå nära de uppmätta. Simuleringsmodellen synes dock svagt överskatta varmvattenberedningens sammanlagrade effektbehov under dygnets tidiga timmar (timme 1-5), medan den underskattar vissa extrema maxeffekter från enskilda hushåll.

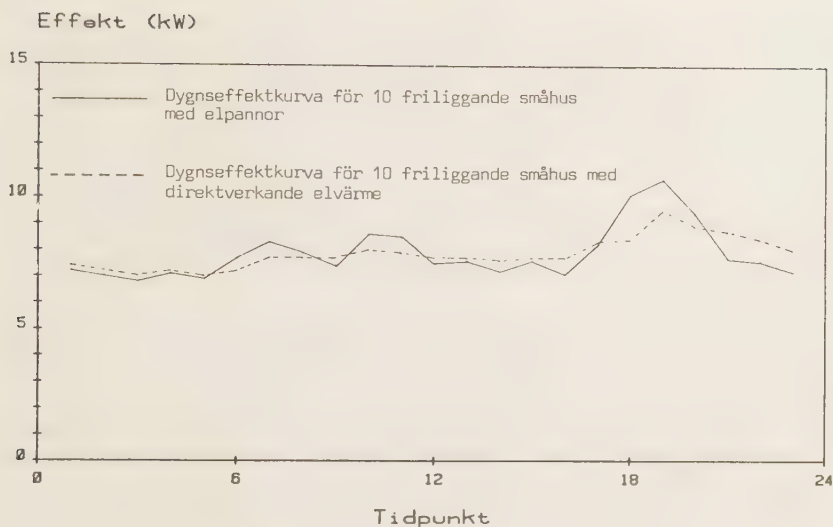
Slutsatsen av denna begränsade verifiering är att den framtagna simuleringsmodellen, inom ramen för de begränsningar som ligger i dataunderlagets omfattning, är väl lämpad för simulering av sammanlagrade dygnseffektkurvor för grupper av enskilda direktelvärmda småhus under dygn med små variationer i utomhustemperaturen. Viss försiktighet erfordras dock vid tolkningen av simulerade maxeffekter från enskilda småhus.

43 DIREKTVERKANDE ELLER VATTENBUREN ELVÄRME - EFFEKTBEHOV

431 Simulerade effektbehov för vardagsdygn

En jämförelse mellan effektbehoven i småhus med direktverkande elvärme och småhus med elpannor redovisas i (16). Jämförelsen utnyttjar dels den i föregående avsnitt redovisade simuleringsmodellen, dels effektmätningarna från Bua-Västergård. För att möjliggöra jämförelsen utformades en modell, som utgående ifrån uppmätta eller simulerade eleffekter från elvärmda småhus omvandlar dygnseffektkurvan från den direkta elvärmen och varmvattenberedaren till den dygnseffektkurva som skulle bli resultatet om småhusen var försedda med en elpanna istället. Därefter jämförs de erhållna effekterna för husen med elpannor med motsvarande för de direktelvärmda husen.

Huvuddelen av det svenska småhusbeståndet är beläget i områden där den dimensionerande utomhustemperaturen, DUT 1, ligger nära -20°C . De mätningar som finns tillgängliga från Bua-Västergård kommer från en mild vinter utan några perioder med temperaturer i närheten av -20°C . Därför simuleras effektbehoven för både de direktelvärmda småhusen och för samma hus med elpannor under en femdygnsperiod med -20°C . Vid dessa simuleringar studeras hur de elektriska effekterna sammanlagras då antalet småhus i grupperna varierar. I figur 4.1 visas de sammanlagrade dygnseffektkurvorna för en grupp om 10 småhus under det dygn då gruppens största sammanlagrade effekt uppträder.



Figur 4.1 Sammanlagrade dygnseffektkurvor för totaleffekten från en grupp med 10 elvärmda småhus under det dygn då den största sammanlagrade totaleffekten uppträder.

Analyserna av de simulerade dygnseffektkurvorna antyder, att de sammanlagrade effekterna från småhus med elpannor varierar mer över dygnet och har en högre maxeffekt än de som gäller samma småhus med direktverkande elvärme. Den sammanlagrade maxeffektens värde skattas som funktion av gruppstorleken på formen

$$P_{\max} = A + B/\sqrt{n}$$

där

n = antalet småhus i gruppen.

Analyserna visar också att inverkan på elproduktionens maxeffekt av effekterna från småhus med elpannor blir ungefär densamma som inverkan från småhus med direktverkande elvärme.

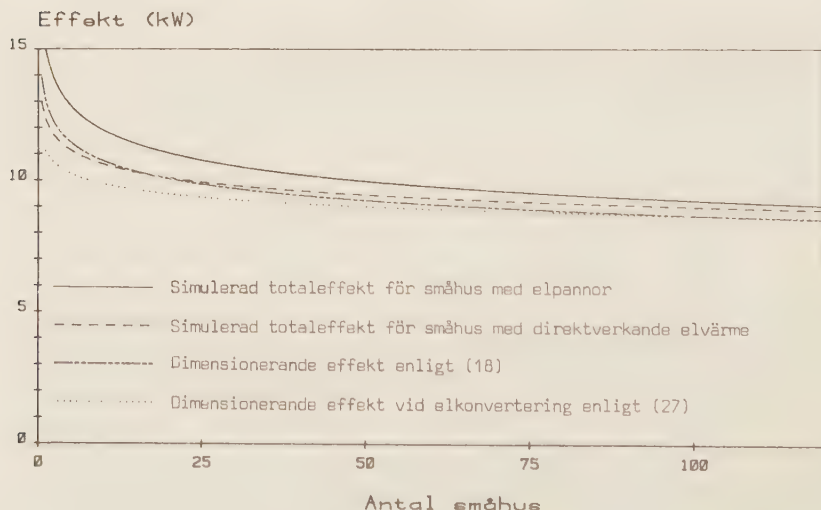
432 Dimensionerande effekter

Den tidigare beskrivna studien (17) visar, att de största sammanlagrade totaleffekterna inträffar under veckosluten. De kan då vara bortåt 10% högre än de största sammanlagrade

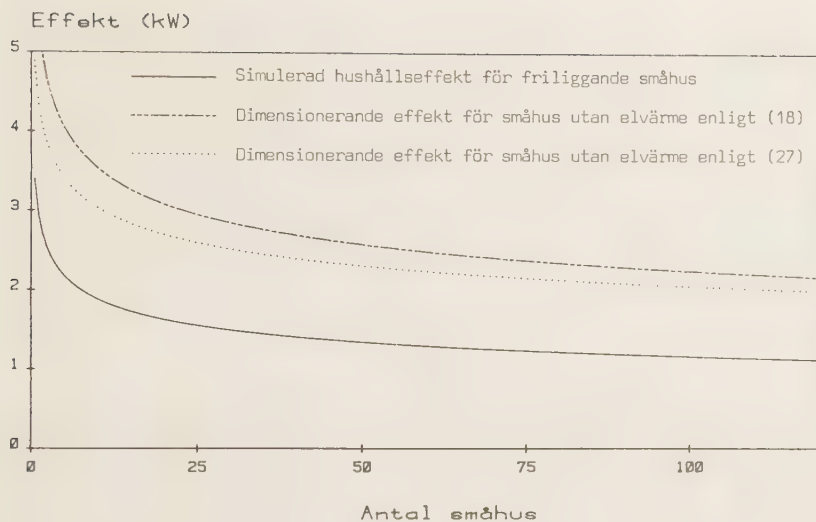
totaleffekter som inträffar under vardagsdygnen, medan den största sammanlagrade hushållseffekten kan vara upp till 5% större under veckosluten. Detta innebär, för den i förra avsnittet beskrivna studien (17), att de där framtagna ekvationerna, som beskriver de sammanlagrade maxeffekterna som funktion av antalet småhus i gruppen, ska ökas med 10% för totaleffekten och med 5% för den rena hushållseffekten. Dessa kurvor kan sedan jämföras med de i (18) och (27) givna rekommendationerna för dimensionerande effekt. Först måste dock de i (18) givna kurvorna räknas om från 1/4-timmes effekter till 1-timmes effekter, något som enligt samma källa kan ske med omvandlingsfaktorn 0.98.

Efter införandet av ovannämnda förändringar i de tidigare ekvationerna kan figur 4.2 och 4.3 ritas upp. De visar den största sammanlagrade totaleffekten för friliggande småhus med elpannor, direkt elvärme och utan elvärme. I figurerna visas också de i (18) och (27) givna dimensionerande effekterna. De redovisade effektvärdena gäller för normal drift, medan effekterna kan bli större vid återinkoppling efter elavbrott om inte särskilda åtgärder vidtagits.

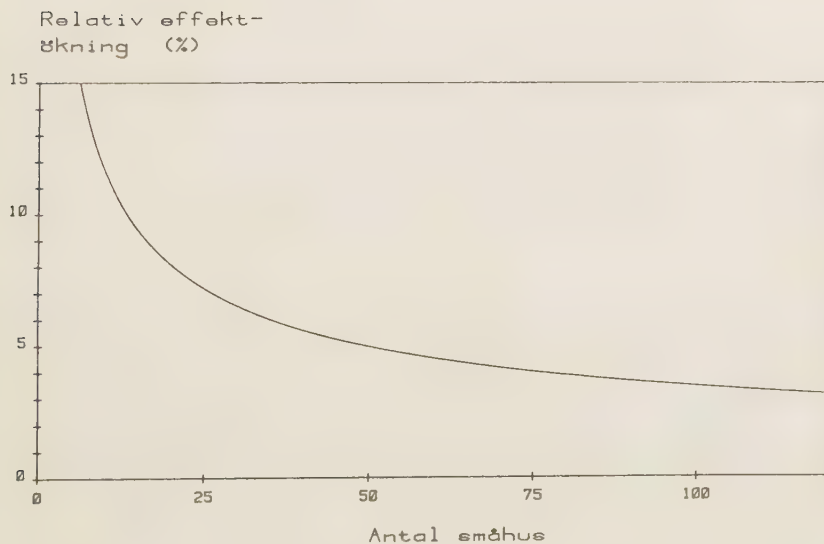
Förhållandet mellan de sammanlagrade maxeffekterna för småhus med elpannor och för småhus med direktverkande elvärme som funktion av antalet småhus ger figur 4.4, som visar den relativa ökningen i effektbehov hos en grupp småhus försedda med elpannor i förhållande till det som gäller om husen har direktverkande elvärme.



Figur 4.2 Största simulerad totaleffekt för friliggande elvärmda småhus samt dimensionerande effekter enligt (18) och (27).



Figur 4.3 Största simulerad hushållseffekt för friliggande småhus samt dimensionerande effekter enligt (18) och (27).



Figur 4.4 Relativ ökning av det sammanlagrade effektbehovet vid småhusuppvärmning med elpannor jämfört med direktverkande elvärme.

Den förväntade överkapaciteten i ett eldistributionssystem utgör skillnaden mellan systemets kapacitet och den belastande maxeffekten. Vid elkonvertering ökar den belastande maxeffekten med ett förväntat värde uppgående till skillnaden mellan maxeffekten för det elkonverterade hushållet och maxeffekten för hushållets hushållseffekt. Relateras denna skillnad till den förväntade överkapaciteten kan antalet tillåtna elvärmekonverteringar beräknas. Utnyttjas tidigare angivna resultat och dimensioneringskriterierna i (18) framgår, att ett för enbart hushållseffekt dimensionerat eldistributions-system "tål" att drygt 10% av hushållen konverterar till elpanneuppvärmning.

5 ANDRA STUDIER INOM AVHANDLINGENS OMRÅDE

Analysen av eleffekter på den detaljnivå som studeras i denna avhandling är inte vanligt förekommande i den tillgängliga litteraturen. Detta förhållande förstärks ytterligare om krav ställs på att analyser och modeller ska grunda sig på detaljerade mätningar av mer än enstaka belastningsobjekt. Mätningar av det aktuella slaget är mycket resurskrävande, kanske så resurskrävande att det sett ur en enskild eldistributörs synvinkel sällan lönar sig att enbart för eget bruk genomföra mätprojekt av i detta sammanhang intressant omfattning. Om man däremot vidgar problemet till att omfatta studier av belastningsförhållanden som elproducenter har anledning att genomföra i avsikt att belysa kapacitetsutnyttjandet eller för att göra prognoser för framtida belastningsförhållanden i elnätet, så är den internationella litteraturen mycket omfattande. Dessa studier är dock oftast ej av primärt intresse i samband med denna avhandling. Vid ett seminarium på LTH 1982-10-21 "Effekt-mässiga konsekvenser av energitekniska investeringar i småhus" (31) framkom det dock att stora mätprojekt av i detta sammanhang intressant slag pågår vid Electricité de France och planeras genomföras i Finland. Kontakter med både EdF och Finlands Elverksförening har visat, att resultaten från det franska mätprojektet kommer att presenteras under hösten 1983 och att det finska mätprojektet avses påbörjas under sommaren 1983.

I Sverige har Fikri (25) och Sundell (29), båda i publikationer från Institutionen för Elektrisk Anläggningsteknik, KTH, berört problem inom avhandlingens område. Även om Fikri främst studerar sammanlagrade eleffekter på högre nivåer i elnätet är hans slutsats, att de sammanlagrade eleffekterna för varje tidsintervall kan beskrivas med en normalfördelning, av direkt intresse för denna avhandling. Sundell har i samband med studier av värmepumpars inverkan på kraftsystemet behandlat den direkta elvärmens effektmässiga karakteristika i ett genomsnittshus. Härvid har han jämfört resultaten från sin simuleringsmodell med mätvärden hämtade från Vattenfalls mätningar på sju direktelvärmda småhus i Piteå.

Som sammanfattning av det tidsspecifika svenska kunskapsläget och som bakgrundsreferenser till det i denna avhandling studerade problemområdet är tre kommittérapporter (2), (18) och

(27) från Svenska Elverksföreningen av särskilt intresse. De i ovannämnda rapporter givna rekommendationerna för dimensionerande effekter har i avsnitt 432 jämförts med de resultat som framkommit inom ramen för denna avhandling.

Inom ramen för det internationella erfarenhetsutbyte som äger rum inom International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy, UNIDEPE, och dess underkommittéer har flera studier av direkt (23) eller indirekt (29) intresse för denna avhandling framlagts och i vissa fall publicerats. En av dessa studier (23) har till viss del samma inriktning som denna avhandling. Den beskriver en modell för simulering av de elektriska effekterna i elvärmda småhus. Rapporten kommer från Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitut, EFI, i Norge.

I samarbete mellan Danske Elvaerkeres Udredningsafdeling, DEFU, och Staerkstrømsafdelingen vid Danmarks Tekniske Højskole, DTH, har Kofod det senaste året bl a utvecklat en metod för prognostisering av dygnseffektkurvor för olika kategorier av elkonsumenter. Kofods arbeten (19), (20) och (21) baseras på effektmätningar utförda av Danska Elverksföreningen, DEF.

I den tyska litteraturen framstår en studie av Piller från 1980 (26) som relevant för det i avhandlingen behandlade problemområdet. Studien är utförd vid Lehrstuhl und Laboratorium für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der Technischen Universität München. Den syftar till att skapa en modell med vars hjälp det effektmässiga beteendet hos såväl enskilda hushåll som grupper av hushåll kan förutses.

Man bör inom avhandlingens studieområde vara försiktig med att överföra konkreta slutsatser från internationella studier till svenska förhållanden. Däremot kan det ur metodisk synvinkel vara av intresse att beröra de likheter och skillnader som kan finnas mellan olika modellansatser. I det följande görs några sådana jämförelser, varvid denna avhandling relateras till de ovan nämnda norska (23), danska (19) och tyska (26) studierna. Endast när det gäller dessa tre studier har det disponerade underlaget varit sådant att en metodjämförelse är möjlig.

I denna avhandling har, som tidigare framgått, effekterna från enskilda småhus delats upp i förbrukningsområdena hushållsel, elvärme och elvärt varmvatten. Den norska studien (23) använder samma indelningsgrund, men delar in hushållseffekten i ytterligare sju förbrukningsområden. I den danska studien (19) behandlas endast de i nätstation sammanlagrade effekterna från elvärmda småhus. Den använda metoden med syntetiska belastningskurvor torde också kunna användas på enskilda småhus både för simulering av totaleffekten och för simulering av effektbehoven för de olika förbrukningsområdena. Den tyska studien (26) skiljer sig från de övriga studierna och från denna avhandling genom att den enbart behandlar hushållseffekten. Effekterna från enskilda hushåll delas härvid upp i sex förbrukningsområden.

I denna avhandling simuleras hushållseffekten genom att en av 24 typkurvor väljs med hjälp av en slumpfunktion och frekvenserna för de olika typkurvornas förekomst. Den norska modellen (23) utnyttjar också en slumpfunktion för att välja typkurvor, men här ska för vart och ett av hushållseffektens sju förbrukningsområden väljas en av femton typkurvor. Även i den tyska studien (26) utnyttjas metodiken med en typkurva för varje förbrukningsområde, men här beskriver typkurvorna det karakteristiska effektförloppet efter tillslag. Dessa karakteristiska effektförlopp kompletteras därför med sannolikheterna för när tillslag sker.

Effektuttaget från de elektriska varmvattenberedarna simuleras i avhandlingen med hjälp av en frekvenskurva för varmvattenberedarens tillslagstidpunkter och en slumpfunktion. Valet av frekvenskurva sker med hänsyn till tidpunkten för maximal hushållseffekt. I den norska studien (23) används samma metodik som tillämpas vid simulering av hushållseffekten, dvs det finns femton typkurvor för varmvattenberedarens beteende, varav en väljes med hjälp av en slumpfunktion.

Elvärmeeffekten simuleras i avhandlingen med utgångspunkt från ett specifikt värmeeffektbehov (uttryckt i kW/°C). El-radiatorernas till- och frånslag simuleras med hjälp av en slumpfunktion. I den norska studien behandlas värmebehovet på ett liknande sätt, det uttrycks dock i W/m² °C. Däremot framgår det inte klart ur tillgängligt material om hänsyn tas till radiatorernas slumpmässiga till- och frånslag, eller om värmeeffekten beräknas som fullständigt sammanlagrad inom respektive hus.

Slutligen ska något nämnas om det dataunderlag som utnyttjats i de olika studierna. Denna avhandling baseras som tidigare nämnts på mätningar under två månader av de enskilda hushållens 1/4-timmeseffekter uppdelade på förbrukningsområdena hushållsel, elvärme och elvärt varmvatten. Mätningarna var uppdelade på två lika långa mätperioder och omfattade 33 respektive 28 småhus. Mätvärdena från den första mätperioden ligger till grund för simuleringsmodellen och mätvärdena från den andra perioden utnyttjades i samband med verifieringen av modellen. I den norska studien (23) nämns inget om grunden för de olika förbrukningsområdenas typkurvor. Däremot genomförs verifieringen med hjälp av mätningar av 1-timmeseffekterna på 20 nätstationer med enbart elvärmda småhus som belastning. Den tidsmässiga omfattningen av dessa mätningar framgår inte ur rapporten. Den danska studien (19) utnyttjar för modelltestning mätningar av 1/2-timmeseffekterna på en nätstation med 11 elvärmda småhus och på fyra nätstationer där elvärmda småhus utgör en del av konsumenterna. Piller (26) använder mätningar av 1/4-timmeseffekterna för sex hushåll i ett flerfamiljshus under 60-100 dagar för att ta fram de karakteristiska effektförloppen och frekvenserna för tillslagstidpunkterna för hushållens sex förbrukningsområden. Vid verifieringen av modellen utnyttjas mätningar av de sammanlagrade effekterna från 34 hushåll under en vecka.

61 SLUTSATSER AV GJORDA STUDIER

Analyserna av de uppmätta effekterna har gett ökade kunskaper om genomsnittseffekter, maxeffekter och dygnseffektkurvor från direktelvärmda småhus. De har också visat att den största sammanlagrade maxeffekten från småhusgruppen inträffar under ett veckoslutsdygn. Både max- och genomsnittseffekterna skilde sig mycket mellan olika likvärdiga småhus under den totala mätiden. Dygnsgenomsnittseffekterna för enskilda småhus varierade mycket mellan olika dygn.

Den framtagna simuleringsmodellen har visat sig vara väl lämpad för simulering av de sammanlagrade effekterna från en grupp direktelvärmda småhus under vardagsdygn med liten variation i utomhustemperaturen. Arbetet med simuleringsmodellen har visat, att då goda empiriska data ligger till grund för en simuleringsmodell kan modellen göras enkel och användbar.

Under de tidigare givna förutsättningarna beträffande underlagets generella giltighet kan följande förväntade maximala effekter anges för friliggande småhus på 130 m², byggda under den första halvan av 70-talet.

Totalt effektbehov för småhus

$$\text{med direkt elvärme } P_{\max} = (8.7 + 5.7/\sqrt{n}) \text{ kW/hus}$$

$$\text{med elpannor } P_{\max} = (8.6 + 9.9/\sqrt{n}) \text{ kW/hus}$$

$$\text{utan elvärme } P_{\max} = (1.0 + 2.7/\sqrt{n}) \text{ kW/hus}$$

där

n = antal småhus

För den sista gruppen, småhus utan elvärme, tillkommer effekten från cirkulationspumpen och i förekommande fall oljebrännaren eller motsvarande.

62 FÖRSLAG TILL VIDARE STUDIER

De begränsningar som gäller för de i avhandlingen redovisade resultaten beror på att mätdata från endast ett större mätprojekt kunnat utnyttjas. Därför skulle det vara önskvärt att ytterligare mätningar av de elektriska effektbehoven för elvärmda småhus genomförs. Härvid vore det lämpligt att välja mätobjekt inom en annan klimatzon än den som Bua-Västergård befinner sig i. Härigenom skulle man få underlag till modeller för omräkning av de karakteristiska storheterna mellan olika hustyper och för utsagor om simuleringsmodellens generella giltighet.

Inverkan av effektbehoven för småhus med värmepumpar på det lokala elnätets nivå bör kunna studeras med hjälp av den befintliga modellen kompletterad med en modell för värmepumpens effektmässiga beteende.

Det är också önskvärt med en utveckling av värmebehovsmodellen, så att den möjliggör simulering av eleffekterna från småhus vid varierande inom- eller utomhustemperatur. Detta skulle möjliggöra studium av inverkan på eleffekterna av olika driftstrategier för de reglersystem som varierar inomhustemperaturen under dygnet. Med tanke på redan aviserade förändringar i de svenska eltarifferna kan ändrade driftstrategier för de nämnda reglersystemen framgent förutses bli aktualiserade.

LITTERATURFÖRTECKNING

- (1) Johansson, K. - Penis, P. - Weiss, P.:
Registrering av effektuttag i elvärmda småhus, 1979-02-07, intern rapport inom Energiverken i Göteborg.
- (2) Arbetsgruppen för Sammanlagrings- och Belastningsstudier:
Sammanlagrings- och belastningsstudier, Svenska Elverksföreningen, 1978.

Sammanlagringsegenskaperna för olika typer av elkonsumention har stor betydelse för tariffsättningen. Därför har en arbetsgrupp inom SEF:s tariffråd studerat sammanlagrings- och belastningsförhållandena inom detaljdistributionsnäten.

Rapporten diskuterar definitionen och betydelsen av begreppen sammanlagring, överlagring och andra effektkaraktiserande begrepp. Riktvärden för de olika begreppen anges. Dessa baseras huvudsakligen på mätningar som gjorts av Energiverken i Göteborg och som till viss del är identiska med dem som analyserats i detta projekt.

De effektbegrepp som vanligen används är 1/4-, 1-, 2- och 6-timmars effekten. Arbetsgruppen anser att 1-timmars effekten är lämplig som dimensionerande effekt i distributionsnäten. De riktvärden som arbetsgruppen anger för sammanlagringsfaktorn för elkonsumenter av samma kategori är 0.30 för hushållseffekten från småhus och 0.62 för totaleffekten från elvärmda småhus. De överlagringsfaktorer som anges för dessa kategorier är 0.82 respektive 0.89. Småhusens genomsnittliga enskilda maxeffekter anges till 4.0 kW för den rena hushållseffekten och 8.5 kW för de elvärmda småhusens totaleffekt.

- (3) Elkraftförsörjningen i Sverige 1975/76, CDL.
- (4) Johansson, K. - Penis, P.:
Effektuttag i elvärmda småhus, ERA (1980):6-7 sid 12-16.
- (5) Larsson, L.:
Modell för simulering av elbelastningar i småhus, lägesrapport (opubl.) 1979-05-29. Se referens (14).
- (6) Larsson, L.:
Hushållsbelastning i elvärmda småhus - empirisk analys, LUTMDN/(TMVK-3093)/1-25/(1980).
- (7) Munther, K.E.:
Energiförbrukningen i småhus, Statens Råd för Byggnadsforskning, R58:1974.

Rapportens syfte är att visa verkliga uppmätta energibehov hos vanliga småhus och att försöka klarlägga hur olika faktorer påverkar energiförbrukningens storlek.

Undersökningen omfattar 5500 bebodda småhus av olika typ belägna på olika platser i landet. De uppmätta energiförbrukningarna jämförs med de teoretiskt förväntade.

Författaren anser att man uppnår god överensstämmelse mellan teori och verklighet då man tar hänsyn till graddygntalet beräknat på 21°C inomhustemperatur, tillgodogjord solenergi och övrig tillgodogjord basenergi. Resultaten redovisas i diagram för normal energiförbrukning som funktion av bostadsytan, för ett referenshus. Som komplettering ges diagram som visar osäkerheten som funktion av antalet hus i den aktuella gruppen. Dessa osäkerheter är stora för enskilda hus. Som exempel kan nämnas, att för ett källarlöst hus ligger energiförbrukningen med 95% sannolikhet inom $\pm 10\ 000$ kW/år från normalförbrukningen för det aktuella huset.

(8) Elmroth, A. - Höglund, I.:
Värmebalans i småhus, Byggeforskningen R7:1973.

(9) Nyquist, C.E. - Englund, K.:
Elvärmda villor i Bollnäs - belastningsmätningar, Svenska Elverksföreningens handlingar 1967 nr 6.

Detta är den första större studie av de elektriska belastningarna från elvärmda småhus som gjorts i Sverige. Rapportens syfte är att redogöra för elvärmebelastningens uppbyggnad och sammanlagring.

Underlaget för studien är de mätningar som AB Skandinaviska Elverk och Statens Institut för Byggnadsforskning gjorde på 18 direktelvärmda småhus i Bollnäs. Mätningarna pågick kontinuerligt från november 1965 till och med december 1966. Man mätte 1/4-timmes värdet för områdets sammanlagrade eleffekt, den sammanlagrade eleffekten från 5 hus, de enskilda totaleffekterna från 5 hus och dessutom enskilda hushålls- och varmvatteneffekter var för sig för 2 av dessa 5 hus.

De i detta sammanhang viktigaste resultaten är att den totala elförbrukningen varierar kraftigt mellan olika hushåll, att tidpunkten för enskilda dygnsmax bestäms av hushållseffekten och varmvatteneffekten samt att sammanlagringen är fullbordad vid en gruppstorlek på 10 hus. De maximala enskilda effektbehoven anges till 10-11 kW för totaleffekten och 4-5 kW för hushållseffekten.

(10) Larsson, L.:
Elvärmebelastning i direktelvärmda småhus - empirisk analys. LUTMDN/(TMVK-3095)/1-24/(1981).

(11) Jansson, P.:
Kostnader för tappvarmvatten, ERA (1980):2 sid 12-14.

(12) Larsson, L.:
Elbelastning från elektrisk varmvattenberedning i elvärmda småhus - empirisk analys. LUTMDN/(TMVK-3099)/1-28/(1981).

(13) Blom, G.:
Statistikteori med tillämpningar, Studentlitteratur, Lund 1970.

(14) Larsson, L.:
Datormodell för simulering av elektriska belastningar från direktelvärmda småhus. LUTMDN/(TMVK-3105)/1-64/(1982).

Ingår i avhandlingens bilagedel.

- (15) Larsson, L.:
Verifiering av datormodell för simulering av elektriska effekter från direktelvärmda småhus. LUTMDN/(TMVK-3114)/1-54/(1983).

Ingår i avhandlingens bilagedel.
- (16) Larsson, L.:
Effektbehov för elvärmda småhus - en jämförelse mellan direktverkande och vattenburen elvärme. LUTMDN/(TMVK-3115)/1-27/(1983).

Ingår i avhandlingens bilagedel.
- (17) Larsson, L.:
Karakteristiska variationer i elektrisk effekt från direktelvärmda småhus under veckans olika dygntyper. LUTMDN/(TMVK-3116)/1-25/(1983).

Ingår i avhandlingens bilagedel.
- (18) Dimensionering av eldistributionssystem i tätorter. Kommittérapport. Svenska Elverksföreningen, 1972.

Denna rapport behandlar frågor rörande eldistributionen inom tätorter.

Den i detta sammanhang mest intressanta frågan rör de dimensionerande effekterna. Rapporten anger som dimensionerande effekter sammanlagrade i nätstation följande:

För ren hushållseffekt $P = 1.9 + 5.0/\sqrt{n}$ kW/hushåll

och för elvärmda hus $P = 8.2 + 7.5/\sqrt{n}$ kW/hushåll

där n = antalet hushåll i gruppen.

Dessa effekter avser 1/4-timmes värden. För omräkning från 1/4-timmes effekt anges följande omvandlingsfaktorer:

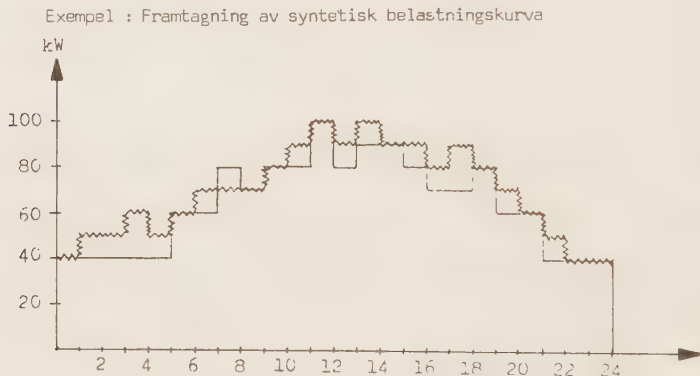
till 1-timmes effekt	0.98
2-timmars effekt	0.96
6-timmars effekt	0.90

- (19) Kofod, C.:
Opbygning af syntetiske belastningskurver, Staerkstrømsafdelingen, DTH, Lyngby 1982.

Rapportens syfte är att redovisa en metod för prognosticering av dygns-effektkurvor för olika elkonsumentkategorier. Underlaget utgörs av belastningsmätningar som gjorts av den danska elverksföreningen (DEF).

Det som är centralt i arbetet är framtagningen av s.k. syntetiska belastningskurvor. En syntetisk belastningskurva, eller med annan terminologi typkurva, visar den mest sannolika dygnseffektkurvan för en viss konsumentkategori. Den syntetiska belastningskurvan skiljer sig från en genomsnittskurva genom att återge de variationer över dygnet som varje enskild konsument inom den aktuella kategorin brukar ha. Framtagningen av en syntetisk belastningskurva illustreras med följande exempel som endast omfattar två uppmätta kurvor. Dessa visas i den första figuren. Först normeras kurvornas timvisa effekter med sina respektive dygnsmax. De normerade effekterna visas i tabell 1. Efter

normeringen tilldelas timmen med den högsta effekten nummer 1, timmen med den näst högsta effekten nummer 2, osv. Tilldelade nummer visas i tabell 2. De timvisa summorna för de tilldelade numren visas överst i tabell 3. Timmen då den syntetiska belastningskurvan har max är den timme som fått minst summa vid summeringen av de tilldelade numren, timmen då den näst största effekten inträffar är den timme som fått den näst minsta summan, osv. Den syntetiska belastningskurvas timvisa effekter beräknas som genomsnittet av de normerade effekter som tilldelats samma nummer. Resultatet för det visade exemplet ses i den sista figuren. När den syntetiska belastningskurvan tas fram registreras också frekvenserna för när den största, näst största, 3:e osv till och med den minsta effekten inträffar. Tabell 4 visar ett exempel på hur dessa frekvenser ser ut.

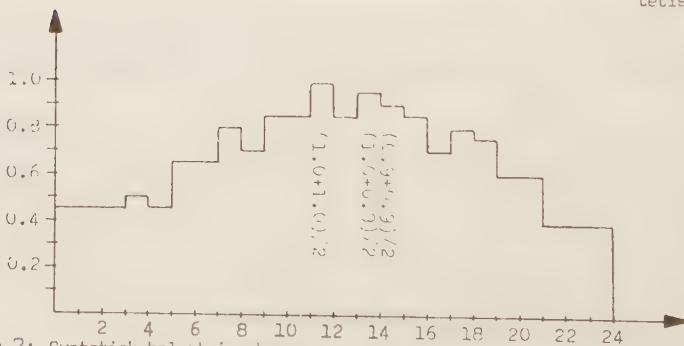


Figur 1: Uppmätta belastningskurvor

Tabell 1: Normerade effekter	
0.4 0.4 0.4 0.4 0.6 0.6 0.8 0.7 0.8 0.8 1.0 0.8 0.9 0.9 0.8 0.7 0.7 0.8 0.6 0.6 0.4 0.4 0.4	Konsument A (—)
0.4 0.5 0.5 0.6 0.5 0.6 0.3 0.3 0.7 0.8 0.9 1.0 0.9 0.9 0.8 0.8 0.8 0.6 0.6 0.5 0.4 0.4	Konsument B (~~)

Tabell 2: Tilldelade nummer	
17 18 14 20 21 13 14 4 10 5 6 1 7 2 3 8 11 12 9 15 16 22 23 24	Konsument A (—)
12 18 19 15 20 16 11 12 13 8 3 1 4 2 5 6 9 7 10 14 15 14 14 24	Konsument B (~~)

Tabell 3:	
39 36 38 35 41 29 15 16 23 13 9 2 11 4 9 14 20 19 19 29 23 43 46 48	Summa
40 18 19 17 21 14 13 8 12 6 4 1 5 2 3 7 11 9 10 15 16 22 23 24	Numrer för den syntetiska belastnings-



Figur 2: Syntetisk belastningskurva

Tabell 4: Frekvens för när de olika effekterna inträffar
Tidpunkt

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Största effekt	0	0	0	0	0	0	0	6	1	7	4	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Näst största	0	0	3	3	0	0	0	5	3	2	5	4	0	3	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0
3:e	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	7	2	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1																								
23:e största	1	3	2	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	1	5	0
24:e största	1	0	3	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	0	7

Vid simuleringen av dygnseffektkurvor utnyttjas sedan de framtagna frekvenserna för att kombineras med ett slumpstal bestämma tidpunkten för dygnets maxeffekt, dygnets näst största effekt, osv. Samtidigt bestäms storleken på effekterna av den syntetiska belastningskurvan, konsumentkategorins genomsnittliga maxeffekt, variansen för denna och en slumpfunktion.

Metoden med syntetiska belastningskurvor kan enligt författaren tillämpas för alla konsumentkategorier på alla nivåer i eldistributions-systemet. Simuleringsmodellen har testats för de flesta konsumentkategorier. För småhusen har dessa tester gjorts för i nätstation sammanlagrad effekt. Metoden har inte tillämpats på det enskilda husets nivå.

- (20) Kofod, C.:
Elvandvarmeres energiförbrukning och belastning, DEFU, Lyngby 1982.

- (21) Kofod, C.:
Effekt- och energibehov ved elopvarmning, DEFU, Lyngby 1982.

- (22) Lundström, E.:
Boendevanornas inverkan på energiförbrukningen i småhus, Statens Råd för Byggnadsforskning, T46:1982.

Rapportens syfte är att på ett enkelt och lättfattligt sätt visa sambandet mellan boendevanor och energiförbrukning.

Underlaget för rapporten är samma material som Munther (7) använder. Ur detta material har en grupp om 78 från början tekniskt likvärdiga småhus utvalts. De utvalda husens energiförbrukning har följts under en 10-årsperiod.

Det i detta sammanhang viktigaste resultatet är att energiförbrukningen varierar kraftigt mellan tekniskt sett likvärdiga småhus under samma yttre förhållanden.

- (23) Neteland, A. - Fredriksen, O.:
Monte-Carlo Simulation Used for Studies of Load Curves, UNIPED, Warszawa, 1979.

Rapportens syfte är att visa ett sätt att prognosticera dygnsbastningskurvor.

Vid Elektrisitetsforsyningens Forskningsinstitut (EFI) i Norge har det utvecklats en modell för simulering av dygnsbelastningskurvor. Modellen arbetar i två steg. I första steget simuleras effekterna för varje konsumentkategori för sig, varefter dessa effekter summeras till en sammanlagrad dygnsbelastningskurva i steg två. Huvuddelen av rapporten berör simuleringen av effekterna från kategorin elvärmda småhus.

Totaleffekten från ett småhus delas upp i nio förbrukningsområden. Dessa är belysning, elektrisk spis, varmvattenberedare, tvättmaskin, diskmaskin, radio och TV, torkutrustning, diverse och slutligen elvärmen. För vart och ett av de åtta först nämnda förbrukningsområdena finns det 15 typiska dygnseffektkurvor. Dessa är alla normerade med det aktuella förbrukningsområdets installerade effekt. Elvärmen karakteriseras endast med värmeeffektbehovet uttryckt i W/m^2 °C.

Vid simulering av effekterna från ett hushåll dras för varje förbrukningsområde, med hjälp av en slumpfunktion, en typkurva. Denna justeras så att den ger den dygsenergiförbrukning som hushållet skall ha för respektive förbrukningsområde. Elvärmeeffekten beräknas genom att multiplicera det givna värmeeffektbehovet med husets storlek och med skillnaden mellan utomhus- och inomhustemperatur. Simuleringsmodellen verifieras genom att simulerade dygnseffektkurvor jämförs med i nätstation uppmätta, varvid god överensstämmelse uppnås.

Den i detta sammanhang viktigaste av författarnas slutsatser är att tillämpning av den redovisade metodiken för prognosticering av dygns-effektkurvor, kombinerat med effektmätningar, ger mycket bättre information om framtida effekter än vad som erhålls genom enbart mätningar.

- (24) Hjelle, K.:
Beskrivelse av belastningsmodellen EFI-SIMBO, EFI, Trondheim, 1980.

Rapporten beskriver ett datorprogram som gjorts för att simulera dygnsbelastningskurvor från en grupp småhus. Modellen, som datorprogrammet bygger på, är den som tidigare beskrivits i rapporten (23).

- (25) Fikri, Z.:
Statistical Load Analysis for Distribution Network Planning, Institutionen för Elektrisk Anläggningsteknik, KTH, Stockholm, 1975.

Rapportens syfte är att noggrant studera faktorer som är viktiga vid planering av ett eldistributionssystem. I rapporten kan följande huvuddelar urskiljas: prognosmetoder, nätutformning och tillförlitlighet. Arbetet behandlar sammanlagrade belastningar i eldistributionssystemet på nivåerna från 0.4 kV upp till 132 kV.

Det som i detta sammanhang är av störst intresse är en statistisk modell för belastningsprognoser och att det i samband med denna modell visats att de sammanlagrade effekterna, för varje tidsintervall, kan beskrivas med hjälp av en normalfördelning.

- (26) Piller, W.:
Lastgangsimulation und -synthese des Stromverbrauchs von Haushalten unter Berücksichtigung der Ausgleichprobleme, Technische Universität München, 1980.

Syftet med denna rapport är att redovisa en användbar metod för att prognosticera dygnsbelastningskurvor från hushåll. Arbetet begränsas till hushållseffekterna, som anses vara avgörande i detta sammanhang.

Hushållens elkonsumtion delas upp på följande apparater: elektrisk spis, tvättmaskin, diskmaskin och torkutrustnin samt förbrukningsområdena elektrisk belysning och el till kyl och frys. Varje apparat har sitt eget karakteristiska effektförlopp efter tillslag och en kurva som anger sannolikheten för att apparaten skall slå till i ett visst tidsintervall. De karakteristiska effektförloppen och sannolikheterna för tillslag tas fram genom mätningar på 6 hushåll. Den framtagna simuleringsmodellen verifieras med hjälp av mätningar av den sammanlagrade effekten från 34 hushåll.

Den i detta sammanhang viktigaste av de slutsatser som författaren drar är att den använda metodiken, att utifrån ett litet antal mätningar och ett omfattande modellutvecklingsarbete simulera dygns-effektkurvorna för ett större antal konsumenter, är ett bra sätt att göra effektprognoiser.

- (27) Nätkommittén:
Dimensionering av jordkabelnät, kapitel 3. Elbelastningar.
Svenska Elverksföreningen, 1983.

Avsikten med det aktuella rapportkapitlet är att ge medlemsföretagen riktvärden på dimensionerande effekter. Dessa riktvärden ska ersätta dem som gavs i en kommittérapport 1972 (18).

Efter kontakter med föreningens medlemsföretag redovisas dels 1980 års effektnivåer, dels rekommenderade riktvärden för totala effekter. De värden som anges är de i nätstationen sammanlagrade effekterna. Dessa inkluderar en viss offentlig belysning. Kommittén anger 1-timmes effekten som lämplig dimensionerande effekt.

De värden som är intressanta i detta sammanhang är följande rekommenderade riktvärden för totala elbelastningar i småhus.

Utan elvärme	2 kW/hus	5 500 kWh/hus
Med elvärme		
konvertering	9 kW/hus	30 000 kWh/hus
nybyggnad, vattenburet system	7 kW/hus	21 000 kWh/hus
nybyggnad, direktverkande	5 kW/hus	15 000 kWh/hus

I bilagorna redovisas också hur totaleffekterna från småhus sammanlagras sig beroende på antalet småhus.

- (28) Boggis, J.G. - Held, I.:
Cluster Analysis a New Tool in Load Curve Studies, UNIPED, Cannes, 1970.

Rapporten beskriver en matematisk-statistisk metod att behandla en datamängd.

Principen för metoden är att man delar in observationerna i grupper innan man genomför den statistiska bearbetningen. I ett tillämpnings-exempel delas dygnseffektkurvorna från 121 hushåll upp i fem skilda grupper. Kriteriet för gruppstillhörighet har här varit överensstämmelse mellan gruppens och respektive hushålls timvisa genomsnittseffekter. Genom att sedan studera andra skillnader mellan de olika grupperna kan man finna vilka karakteristika som är viktiga för effektkurvans form.

Den i detta sammanhang viktigaste slutsatsen är att Cluster Analysis är en metod som kan användas i samband med effektstudier.

- (29) Sundell, J.:
Inverkan av värmepumpstillämpningar på kraftsystemplanering och drift. Delrapport 2. Termisk modell av värmepumpus. Institutionen för Elektrisk Anläggningsteknik, KTH, Stockholm, 1977.

Rapporten beskriver en modell för simulering av värmepumpbelastningar från ett enfamiljshus. Syftet med modellen är att kunna beräkna inverkan av olika elektriska uppvärmningssystem på det elektriska energisystemet. Modellen består av delmodeller för byggnad, uteklimat och uppvärmningssystem.

Den i detta sammanhang intressanta delmodellen är delmodellen för byggnaden och dess uppvärmning med hjälp av elradiatorer. Vid uppvärmning med elradiatorer antas, att man redan inom huset uppnår fullständig effektsammanlagring. Detta innebär, att elradiatorerna tillförs exakt så stor effekt som huset behöver för att inomhustemperaturen ska hålla sig konstant. Hänsyn tas till den värme som kan tillgodogöras från personer, hushållsel och solinstrålning. Modellen för byggnaden gäller för ett enfamiljshus med samma inomhustemperatur i hela den uppvärmda volymen. Huset betraktas som ett enda rum med fyra ytterväggar, takbjälklag, bottenbjälklag och fyra fönster. Värmeförlusterna till omgivningen beräknas var för sig för de uppräknade byggnadsdelarna och för ventilationen. För att erhålla lätthanterliga ekvationer approximeras beteendet hos de olika byggnadsdelarna och ventilationen med elektriska analogier.

Modellens egenskaper jämförs med mätvärden från Vattenfalls mätningar på sju elvärmda småhus i Piteå, varefter författaren finner att den uppfyller de krav som ställs.

- (30) Sundell, J.:
Simulation of Heat Pump System for Single Family Dwellings, Institutionen för Elektrisk Anläggningsteknik, KTH, Stockholm, 1980.

- (31) Larsson, L. - Thörnqvist, L.:
Effektmässiga konsekvenser av energitekniska investeringar i småhus. Seminarium vid LTH 1982-10-21. LUTMDN/(TMVK-3110)/1-16/(1982).

